УДК 004.942:519.876.5

Е.Б. Яремчишин, Р.А. Бунь, Х.В. Гамаль
Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина
oyaremchyshyn@gmail.com

Специализированная геоинформационная система моделирования и анализа эмиссии парниковых газов в промышленном секторе на региональном уровне

В статье описана структура созданной специализированной геоинформационной системы моделирования и пространственного анализа эмиссий парниковых газов от промышленных процессов. Представлены математические модели инвентаризации парниковых газов в секторе «Промышленность», которые дают возможность осуществлять оценку выбросов на региональном уровне. Приведены результаты пространственного анализа эмиссии парниковых газов от производства сахара и мяса во Львовской области.

Введение

В условиях имеющихся изменений климата сегодня в особенном внимании нуждается явление парникового эффекта. С целью стабилизации состояния атмосферы нашей планеты мировое сообщество заключило ряд международных соглашений. Особенно большое значение имеет Киотский протокол, который санкционирует выбросы парниковых газов путем торговли квотами на них. Согласно протоколу каждая страна-участница должна придерживаться определенных обязательств – «заморозить» свои эмиссии парниковых газов на определенном для нее уровне. Инвентаризация парниковых газов указывает на выполнение норм протокола и определяет приоритеты торговли квотами для той или иной страны.

При оценке эмиссий парниковых газов принято секторное деление источников загрязнения атмосферы в соответствии с основными видами хозяйственной деятельности [1]. Без сомнения важную роль в этом плане играет промышленное производство. Здесь сосредоточены одни из наибольших загрязнителей атмосферного воздуха.

Межправительственной группой экспертов по изменению климата разработаны методики национальных инвентаризаций парниковых газов – оценки эмиссий отдельных стран в целом [2]. Применение этих методик дает очень обобщенные результаты: в Украине есть как промышленно развитые регионы, так и регионы, в которых практически отсутствует тяжелая индустрия. Следовательно, целесообразнее осуществлять оценку эмиссий парниковых газов с учетом особенностей любой как угодно малой территории (области, района или элементарного объекта размером, например, 5 км × ×5 км или 2 км×2 км). Поэтому актуальной задачей является разработка методов и средств пространственной (гераспределенной) инвентаризации парниковых газов, которые бы давали оценку эмиссии на региональном уровне и отражали бы неравномерное распределение источников загрязнения воздуха.

Целью данной работы является представление специализированной геоинформационной системы для осуществления пространственной инвентаризации парниковых газов в промышленном секторе. Заданием этой системы является построение гераспределенных кадастров выбросов парниковых газов от промышленной деятельности.

Математическая модель инвентаризации парниковых газов в секторе «Промышленность» на региональном уровне

В промышленном секторе находятся одни из наиболее мощных источников эмиссий парниковых газов. Источниками выбросов в этом секторе являются промышленные процессы, не связанные со сжиганием топлива. Эмиссии парниковых газов здесь предопределены процессами химической и физической трансформации материалов [2].

Промышленный сектор в соответствии с международными методиками инвентаризации [2] разделен на шесть подсекторов: производство минеральных веществ, производство химических веществ, производство металлов, целлюлозно-бумажная и пищевая промышленности, производство и использование фторуглеродов и шестифтористой серы. Каждому из них принадлежат соответствующие категории источников. Например, в подсекторе «Пищевая промышленность» оцениваются эмиссии от таких промышленных процессов, как производство продуктов питания (сахара, мяса и т.п.) и напитков.

Для оценки величины выбросов парниковых газов от промышленной деятельности на уровне элементарных участков процессам эмиссии поставлена в соответствие математическая модель [3, с. 65]:

$$E^{G}(\delta)=\sum_{a=1}^{A}\left[F_{a}(\delta)\cdot EF_{a}^{G}(\delta)\right], \qquad (1)$$

где $E^{G}(\delta)$ – эмиссии G-го парникового газа от промышленной деятельности в элементарном участке δ; $F_{a}(\delta)$ – данные об a-м роде промышленной деятельности в элементарном участке δ (объемы производства промышленной продукции); $EF_{a}^{G}(\delta)$ – коэффициент эмиссии G-го парникового газа от a-го рода промышленной деятельности в элементарном участке δ; A – количество родов промышленной деятельности.

Преимуществом такой модели инвентаризации парниковых газов является то, что в целом результаты инвентаризации не являются сосредоточенными, они относятся к соответствующим элементарным участкам. Результаты, представленные в таком виде, отображают региональную специфику процессов эмиссии парниковых газов [4, p. 141].

Структура специализированной геоинформационной системы пространственной инвентаризации

Геоинформационный подход к оценке эмиссий парниковых газов заключается в поочередном осуществлении инвентаризации парниковых газов для всех элементарных участков, на которые разбита исследуемая территория. Для реализации этого подхода разработана специализированная геоинформационная система, которая использует статистическую информацию о результатах хозяйственной деятельности, рабочие листы Excel-таблиц, которые соответствуют согласованным на международном уровне методикам инвентаризации, и слои цифровой карты в формате одной из геоинформационных систем. Созданная система осуществляет пространственную инвентаризацию парниковых газов поэтапно: ввод параметров инвентаризации, реализация математических моделей пространственной инвентаризации и анализ полученных результатов.

Структура созданной геоинформационной системы включает три основных модуля: *MapInfoServer*, *Inventaryz* и *Maps* [5].

В модуле MapInfoServer создается компонент TKDMapInfoServer для запуска и управления программой MapInfo. С помощью этого модуля окно MapInfo и другие окна (легенда, информация и т.д.) встроены в систему и посредством команды подпрограммы MapBasic между ними происходит обмен информацией.

Модуль Inventaryz – программный модуль, основными функциями которого является запись входных данных в соответствующие Excel-таблицы согласованных на международном уровне методик [6] и осуществление инвентаризации парниковых газов для исследуемого рода промышленной деятельности.

Для формирования таблиц входных данных используется информация из соответствующих слоев цифровой карты в формате программы MapInfo, а также статистические данные о результатах промышленной деятельности. На основе этой информации формируется база данных согласно определенным алгоритмам, т.е. создаются новые слои цифровой карты, которые соответствуют отдельным подкатегориям сектора «Промышленность». Геоинформация из этих сформированных слоев цифровой карты является входными данными для модуля Inventaryz.

С помощью технологии OLE и запросов на языке MapBasic геоинформация для элементарного участка записывается в соответствующие ячейки, которые используются программой Microsoft Excel. Из полученных с помощью международных методик данных этим же модулем формируются исходные таблицы, которые соответствуют результатам инвентаризации парниковых газов в исследуемой отрасли промышленности.

Основными функциями модуля Maps являются: формирование запросов к таблицам результатов инвентаризации, создание новых геоинформационных слоев с результатами инвентаризации по элементарным участкам и отображение их на цифровой карте, а также построение 3D-карт, карт-призм и т.д. Входными данными для этого модуля являются сформированные модулем Inventaryz таблицы результатов инвентаризации и топографическая информация с цифровой карты. С помощью IDW-интерполяции результаты инвентаризации представляются на цифровой карте в удобном для визуального восприятия виде. Этот метод интерполяции заключается в использовании средневзвешенных значений с весами, обратно пропорциональными к расстоянию.

При работе с геоинформационной системой вся информация сохраняется в виде гeораспределенных баз данных, которые соответствуют цифровым картам. Такие карты отображают территориальное размещение объектов, а информация о свойствах и характеристиках этих объектов сохраняется в соответствующих полях георaспределенной базы данных. С помощью созданной специализированной геоинформационной системы полученные результаты представляются в виде слоев цифровой карты для отображения территориального распределения величины и структуры эмиссии. Применение пространственной инвентаризации парниковых газов показывает структуру выбросов по категориям источников и вклад в общие эмиссии каждого отдельно взятого элементарного участка. Показатели выбросов на уровне административного района, области или целой страны можно вычислить путем суммирования полученных эмиссий по всем элементарным участкам, расположенным в пределах исследуемой территории. Каждой категории источников эмиссий парниковых газов от промышленной деятельности соответствует отдельный слой цифровой карты. Это обеспечивает хорошую наглядность представления результатов инвентаризации и гарантирует прозрачность инвентаризационного процесса [7].

Результаты пространственного анализа

Для осуществления пространственного анализа эмиссии парниковых газов на региональном уровне необходимо в первую очередь сформировать элементарные объекты, в пределах которых будет осуществляться инвентаризация. Под такими объектами следует понимать участки размером $l \times l$ км, которые также ограничены границами административных районов. То есть в пределах каждого района создается множество элементарных объектов, большинство из которых являются «полноценными», поскольку они имеют правильную форму и их площадь равняется l^2 км^2. Остальные объекты имеют неправильную форму, поскольку их ограничивает граница соответствующего административного района [5].

В данной статье для исследования взята территория Львовской области, которая разделена на элементарные участки размером 5 км×5 км. Эта операция осуществлена с помощью программы MapInfo, в результате чего были сформированы элементарные объекты, общее число которых составляет 1315.

При моделировании и пространственном анализе эмиссии парниковых газов необходимо иметь данные об объемах производства (для некоторых категорий источников эмиссии – объемы использования) промышленной продукции, отнесенные к отдельному элементарному участку. Данные об объемах производства промышленной продукции в области взяты из статистических сборников (например, [8], [9]) и распределены по элементарным объектам в соответствии с определенными алгоритмами.

Источники выбросов парниковых газов в результате производства промышленной продукции бывают *точечными* и *плоскостными*. Например, для производства сахара характерными являются точечные источники. Для такой категории деятельности прослеживаются результаты отдельных промышленных заводов. Плоскостные источники характеризуют процессы производства мяса. В этой категории деятельности имеется большое количество мелких предприятий и поэтому фиксируется общий показатель производства на уровне административных районов.

Таким образом, входные данные об объемах производства сахара распределяются по элементарным участкам в соответствии с расположением сахарных заводов (во Львовской области – это ОАО «Радеховский сахарный завод» и ОсОО «Золочевагро»). Для формирования геораспределенных входных данных при анализе эмиссий парниковых газов от производства мяса предлагается подход, в соответствии с которым объемы производства разделены между элементарными объектами пропорционально к населению городов областного подчинения, городов и поселков городского типа.

Городское население в любом отдельном элементарном участке является суммой количества населения по всем городам и поселкам городского типа, которые размещены полностью в его пределах, а также частицы населения, пропорциональной к частице площади города (или поселка городского типа), которая попала в данный участок (когда определенный населенный пункт частично находится в пределах исследуемого элементарного участка):

$$Q(\delta) = \sum_{s \in \left\{ s \in \widetilde{S}^{Urb,R} \wedge s \,\widehat{\cap}\, \delta \neq \emptyset \right\}} \frac{Q(s) \cdot area(s \,\widehat{\cap}\, \delta)}{area(s)}, \tag{2}$$

$$R = \left\{ R \in \widetilde{R} \wedge \delta \,\widehat{\in}\, R \right\}, \quad \widetilde{S}^{Urb,R} = \widetilde{S}^{Urb} \,\widehat{\cap}\, R,$$

где $Q(x)$ – количество населения, которое проживает в объекте x; $area(x)$ – площадь объекта x; $\widetilde{S}^{Urb,R} = \left\{ S_1^{Urb,R}, S_2^{Urb,R}, \ldots \right\}$ – множество городов и поселков городского типа,

которые принадлежат району R. В формуле (2) использованы следующие соотношения: $x \mathrel{\widehat{\in}} y$ – географический объект x территориально полностью размещен в пределах объекта y; $x \mathrel{\widehat{\cap}} y = z$ – объект z является общей территорией объектов x и y, причем $z \neq \phi$, если объекты x и y имеют хотя бы одну общую точку на своих границах.

Таким образом, математическая модель инвентаризации парниковых газов для осуществления пространственного анализа эмиссий от плоскостных промышленных источников на уровне элементарных участков имеет следующий вид:

$$E^G(\delta) = \sum_{a=1}^{A}\left[\frac{F_a(R)\cdot EF_a^G(\delta)}{\sum_{s\in\tilde{S}^{Urb,R}} Q(s)}\cdot\sum_{s\in\left\{s\in\tilde{S}^{Urb,R}\wedge s\mathrel{\widehat{\cap}}\delta\neq\phi\right\}}\frac{Q(s)\cdot area(s\mathrel{\widehat{\cap}}\delta)}{area(s)}\right], \quad (3)$$

$$R = \left\{R \in \tilde{R} \wedge \delta \mathrel{\widehat{\in}} R\right\},\quad \tilde{S}^{Urb,R} = \tilde{S}^{Urb} \mathrel{\widehat{\cap}} R,$$

где $E^G(\delta)$ – эмиссии G-го парникового газа от плоскостных промышленных источников в элементарном участке δ; $F_a(R)$ – данные о a-м роде промышленной деятельности в административном районе R (районные объемы производства промышленной продукции); $EF_a^G(\delta)$ – коэффициент эмиссии G-го парникового газа от a-го рода промышленной деятельности в элементарном участке δ; $Q(x)$ – количество населения, проживающего в объекте x; $area(x)$ – площадь объекта x.

Математическая модель инвентаризации парниковых газов для осуществления пространственного анализа эмиссий от точечных промышленных источников на уровне элементарных участков имеет следующий вид:

$$E^G(\delta) = \sum_{a=1}^{A}\sum_{i=1}^{I_\delta}\left[F_a(i)\cdot EF_a^G(i)\right], \quad (4)$$

где $E^G(\delta)$ – эмиссии G-го парникового газа от точечных промышленных источников в элементарном участке δ; $F_a(i)$ – данные о деятельности i-го промышленного предприятия a-й отрасли (объемы производства продукции промышленным предприятием i); $EF_a^G(i)$ – коэффициент эмиссии G-го парникового газа в результате деятельности i-го промышленного предприятия a-й отрасли; I_δ – количество точечных промышленных источников в элементарном участке δ.

После выделения отдельно больших точечных источников эмиссии в определенной исследуемой отрасли промышленности математическая модель инвентаризации парниковых газов для осуществления пространственного анализа эмиссий от плоскостных промышленных источников на уровне элементарных участков имеет следующий вид:

$$E^G(\delta) = \sum_{a=1}^{A}\left[\frac{\left(F_a(R)-\sum_{i=1}^{I_R}F_a(i)\right)\cdot EF_a^G(\delta)}{\sum_{s\in\tilde{S}^{Urb,R}} Q(s)}\cdot\sum_{s\in\left\{s\in\tilde{S}^{Urb,R}\wedge s\mathrel{\widehat{\cap}}\delta\neq\phi\right\}}\frac{Q(s)\cdot area(s\mathrel{\widehat{\cap}}\delta)}{area(s)}\right], \quad (5)$$

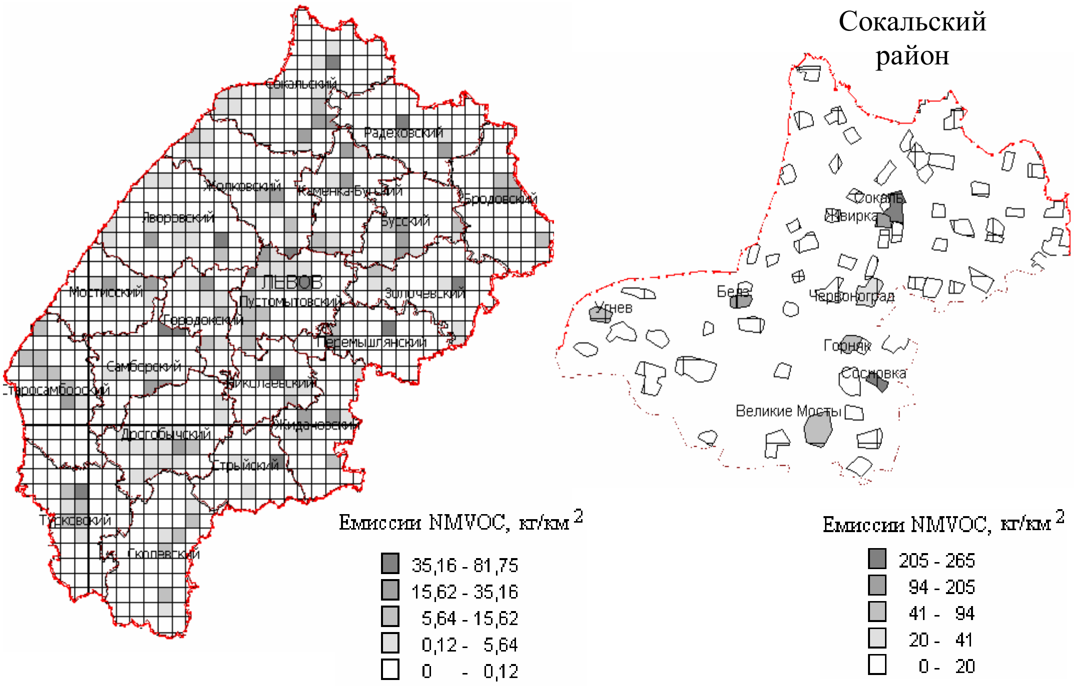
$$R = \left\{R \in \tilde{R} \wedge \delta \mathrel{\widehat{\in}} R\right\},\quad \tilde{S}^{Urb,R} = \tilde{S}^{Urb} \mathrel{\widehat{\cap}} R,$$

где $E^G(\delta)$ – эмиссии G-го парникового газа от плоскостных промышленных источников в элементарном участке δ; $F_a(R)$ – данные о a-м роде промышленной деятельности в административном районе R (районные объемы производства промышленной продукции); $F_a(i)$ – данные о деятельности i-го промышленного предприятия a-й отрасли (объемы производства продукции промышленным предприятием i);

$EF_a^G(\delta)$ – коэффициент эмиссии G -го парникового газа от a -го рода промышленной деятельности в элементарном участке δ ; $Q(x)$ – количество населения, которое проживает в объекте x ; I_R – количество точечных промышленных источников в административном районе R .

Эти математические модели пространственной инвентаризации парниковых газов программно реализованы в специализированной геоинформационной системе. На основе распределенных при помощи этих моделей значений объемов производства с использованием созданной геоинформационной системы исследованы эмиссии парниковых газов от основных источников подсектора «Пищевая промышленность» на территории Львовской области. Результатом пространственного анализа с использованием компьютерной программы являются цифровые карты и соответствующие геораспределенные базы данных, которые содержат информацию об источниках эмиссии в разрезе отдельных элементарных участков, количественные оценки эмиссии и их структуру для отдельных подкатегорий источников выбросов парниковых газов.

Производство продуктов питания сопровождается эмиссиями летучих неметановых углеродов (NMVOC). В данной статье использованы коэффициенты эмиссий NMVOC, предложенные Межправительственной группой экспертов по изменению климата [2]. Объемы производства взяты из соответствующих статистических сборников [8], [9]. Для территориального распределения объемов производства использована цифровая карта населенных пунктов и плотности населения. В результате пространственной инвентаризации получено множество числовых значений эмиссий летучих неметановых углеродов от производства сахара и мяса на уровне элементарных участков размером 5 км×5 км.



а) б)

Рисунок 1 – Удельные эмиссии летучих неметановых углеродов (NMVOC) в результате производства мяса во Львовской обл. в 2006 г. на уровне: а) элементарных объектов; б) населенных пунктов (городов областного подчинения, городов и поселков городского типа)

Для оценки вклада каждого элементарного объекта в эмиссии от производства мяса во Львовской области за 2006 год с помощью специализированной геоинформационной системы построена соответствующая карта, которая показывает неравномерность распределения источников выбросов (рис. 1).

На рис.1 видны элементарные участки, которые являются лидерами относительно эмиссий парниковых газов от производства мяса. Следовательно, мероприятия по уменьшению эмиссий от данной подкатегории источников необходимо проводить преимущественно на этих территориях. Это подтверждает чрезвычайно неравномерную концентрацию промышленного производства в разных регионах Украины.

Сравнение величин выбросов летучих неметановых углеродов (NMVOC) от промышленных процессов производства сахара и мяса во Львовской области в 2006 г. по результатам осуществления пространственной инвентаризации изображено на диаграмме (рис. 2).

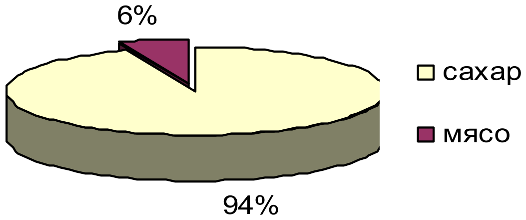


Рисунок 2 – Структура эмиссий NMVOC от производства сахара и мяса во Львовской области в 2006 г.

На основе сформированных входных данных об объемах производства промышленной продукции специализированная геоинформационная система дает возможность строить кадастры эмиссий парниковых газов на уровне элементарных объектов. В результате получена оценка эмиссий парниковых газов в пищевой промышленности (производство сахара и мяса). Кроме этого, данная система позволяет исследовать структуру выбросов парниковых газов по всем категориям промышленных источников на разных территориальных уровнях: на уровне элементарных объектов, определенных участков территории, административных районов или на уровне области в целом.

Выводы

Разработанная специализированная геоинформационная система позволяет осуществлять пространственный анализ выбросов парниковых газов от промышленных процессов. В основу работы системы положены математические модели пространственной инвентаризации парниковых газов в секторе «Промышленность» на региональном уровне. Благодаря системе реализован подход, который предусматривает деление исследуемой территории на элементарные участки и оценку эмиссии отдельно для каждого из них. Система, которая содержит три базовых модуля, использует статистическую информацию о результатах промышленной деятельности, согласованные на международном уровне методики инвентаризации и слои цифровой карты в формате одной из геоинформационных систем.

С использованием разработанного математического и программного инструментария построены геораспределенные кадастры выбросов парниковых газов для Львовской области на уровне элементарных участков размером 5 км×5 км. Результаты получены для таких подкатегорий источников подсектора «Пищевая промышленность», как производство сахара и мяса.

Использование системы дает важную информацию о фактическом территориальном размещении промышленных источников выбросов парниковых газов. Кроме этого, предоставляется возможность учета специфических для каждой подкатегории источников параметров эмиссионного процесса. Суммирование эмиссий парниковых газов от разных подкатегорий источников по элементарным участкам позволяет получить результаты традиционной инвентаризации на национальном уровне.

Применение специализированной геоинформационной системы дает структуру выбросов по категориям источников и показывает вклад в общие эмиссии каждого отдельно взятого элементарного участка, наглядно иллюстрирует наиболее загрязненные территории. Разработанные программные средства дают возможность эффективно использовать международные подходы к оценке сложных процессов эмиссии парниковых газов. Результаты, представленные в таком виде, являются важными для тех, кто принимает управленческие решения относительно стратегических направлений разрешения актуальных проблем экологии и природоохранной деятельности.

Литература

1. Информационные технологии инвентаризации парниковых газов и прогнозирования углеродного баланса Украины / [Бунь Р.А., Густи Н.И., Дачук В.С. и др.]. – Львов : УАД, 2004. – 376 с.
2. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Reporting instructions. – Vol. 1. – IPCC, 1996.
3. Яремчишин Е.Б. Моделирование и пространственный анализ эмиссий парниковых газов в промышленном секторе Львовской области / Е.Б. Яремчишин // Материалы 7-й открытой научной конференции профессорско-преподавательского состава ИМФН. – Львов : НУ «ЛП», 2008.
4. Multilevel model for greenhouse gas inventory and uncertainty analysis concerning the Kyoto protocol implementation / [Bun R., Gusti M., Bun A., Hamal Kh.] // Intern. Conf. on Ecological Modelling «ICEM 2006». – Yamaguchi (Japan), 2006.
5. Бунь Р.А. Геоинформационная технология пространственной инвентаризации парниковых газов в энергетической отрасли на региональном уровне / Р.А. Бунь, Х.В. Гамаль // Вестник СНУ им. Даля. – 2008. – № 1 (119). – С. 17-25.
6. The IPCC software for estimating greenhouse gas emissions. IPCC Version 1.1, 1998 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ipcc-nggip.iges.or.jo/public/gl/software.htm.
7. Гамаль Х. Геоинформационный подход к инвентаризации парниковых газов на Львовщине / Х. Гамаль, Н. Терлецкая // Компьютерные науки и инженерия : материалы 1-й Междунар. конф. молодых научных работников (CSE-2006). – Львов : НУ «ЛП», 2006. – С. 88-90.
8. Промышленность Львовщины : Статистический сборник. – Львов : Главное управление статистики во Львовской области, 2007. – 196 с.
9. Статистический ежегодник Львовской области за 2006 год : Часть 1. – Львов : Главное управление статистики во Львовской области, 2007. – 368 с.

О.Б. Яремчишин, Р.А. Бунь, Х.В. Гамаль

Спеціалізована геоінформаційна система моделювання та аналізу емісії парникових газів в промисловому секторі на регіональному рівні

В статті описано структуру створеної спеціалізованої геоінформаційної системи моделювання та просторового аналізу емісій парникових газів від промислових процесів. Представлено математичні моделі інвентаризації парникових газів в секторі «Промисловість», які дають можливість здійснювати оцінку викидів на регіональному рівні. Наведено результати просторового аналізу емісії парникових газів від виробництва цукру та м’яса у Львівській області.

O.B. Yaremchyshyn, R.A. Bun, Kh.V. Hamal

The Specialized Geoinformation System of Modelling and Analysis of Greenhouse Gases Emission in Industrial Sector at Regional Level

The structure of created specialized geoinformation system of modelling and spatial analysis of greenhouse gases emissions from industrial processes is described in the paper. The mathematical models of greenhouse gases inventory in „Industry” sector that enable to carry out estimation of emissions at regional level are presented. The results of spatial analysis of greenhouse gases emission from the sugar and meat production in the Lviv region are introduced.

Статья поступила в редакцию 20.05.2009.